

【特許請求の範囲】

【請求項1】 窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子であって、

窒化物半導体基板がストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有し、窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、

レーザ光導波領域が低転位領域上に位置して転位集中領域と略平行であり、

レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離 d が $40\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

【請求項2】 窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子であって、

窒化物半導体基板が、互いに略平行な複数のストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有し、

窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、

レーザ光導波領域が低転位領域上に位置して転位集中領域と略平行であり、

レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離 d が $40\mu\text{m}$ 以上であり、

隣り合う転位集中領域間の中央線部分を低転位領域中央領域とすると、レーザ光導波領域とこれに最近接の低転位領域中央領域との水平方向の距離 t が $30\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

【請求項3】 窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子であって、

窒化物半導体基板がストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有し、

低転位領域がストライプ状の高ルミネッセンス領域を有し、

転位集中領域と高ルミネッセンス領域が略平行であり、窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、

レーザ光導波領域が低転位領域上に位置して転位集中領域と略平行であり、

レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離 d が $40\mu\text{m}$ 以上であり、

レーザ光導波領域とこれに最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離 t が $30\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

【請求項4】 距離 d が $60\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項1ないし請求項3のいずれか1項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項5】 窒化物半導体基板が転位集中領域を複数

有し、

隣り合う転位集中領域間の距離 P が $140\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項6】 距離 P が $300\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項5に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項7】 転位集中領域が窒化物半導体基板の $[1-100]$ 方向に略平行であることを特徴とする請求項1ないし請求項6のいずれか1項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項8】 窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子であって、

窒化物半導体基板がストライプ状の高ルミネッセンス領域を有し、

窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、

レーザ光導波領域が高ルミネッセンス領域と略平行であり、

レーザ光導波領域と最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離 t が $30\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

【請求項9】 距離 t が $50\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項2、請求項3、請求項8、または請求項2もしくは請求項3を引用する請求項4ないし請求項7のいずれか1項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項10】 高ルミネッセンス領域が窒化物半導体基板の $[1-100]$ 方向に略平行であることを特徴とする請求項8に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項11】 請求項1ないし請求項10のいずれか1項に記載の窒化物半導体レーザ素子を光源として備えることを特徴とする半導体光学装置。

【請求項12】 互いに略平行な複数のストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有する窒化物半導体基板上に、ストライプ状のレーザ光導波領域を備えた窒化物半導体の積層構造を含有する窒化物半導体層を形成する工程を含む窒化物半導体レーザ素子の製造方法であって、

レーザ光導波領域を低転位領域上に転位集中領域と略平行に設けるとともに、

レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離 d を $40\mu\text{m}$ 以上とすることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項13】 隣り合う転位集中領域間の中央線部分を低転位領域中央領域とすると、レーザ光導波領域とこれに最近接の低転位領域中央領域との水平方向の距離 t を $30\mu\text{m}$ 以上とすることを特徴とする請求項12に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項14】 低転位領域中に転位集中領域と略平行なストライプ状の高ルミネッセンス領域を有する窒化物

半導体基板を用い、

レーザ光導波領域とこれに最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離 t を $30\mu\text{m}$ 以上とすることを特徴とする請求項12に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項15】 距離 d を $60\mu\text{m}$ 以上とすることを特徴とする請求項12ないし請求項14のいずれか1項に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項16】 隣り合う転位集中領域間の距離 P が $140\mu\text{m}$ 以上の窒化物半導体基板を用いることを特徴とする請求項12ないし請求項15のいずれか1項に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項17】 距離 P が $300\mu\text{m}$ 以上の窒化物半導体基板を用いることを特徴とする請求項16に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項18】 互いに略平行な複数のストライプ状の高ルミネッセンス領域を有する窒化物半導体基板上に、ストライプ状のレーザ光導波領域を備えた窒化物半導体の積層構造を含有する窒化物半導体層を形成する工程を含む窒化物半導体レーザ素子の製造方法であって、レーザ光導波領域を高ルミネッセンス領域と略平行に設けるとともに、

レーザ光導波領域とこれに最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離 t を $30\mu\text{m}$ 以上とすることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項19】 距離 t を $50\mu\text{m}$ 以上とすることを特徴とする請求項13、請求項14、請求項18、または請求項13もしくは請求項14を引用する請求項15ないし請求項17のいずれか1項に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、窒化物半導体レーザ素子、その製造方法および窒化物半導体レーザ素子を光源として備える半導体光学装置に関し、特に、窒化物半導体を基板として用いる窒化物半導体レーザ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 GaN 、 AlN 、 InN およびそれらの混晶に代表される窒化物半導体材料により、紫外外から可視領域で発振する半導体レーザ素子が試作されている。ジャパニーズ=ジャーナル=オブ=アプライド=フィジックス39号L647~L650頁(Jpn. J. Appl. Phys. Vol.39(2000) pp.L647-650)で報告された半導体レーザ素子もこの一例であり、 GaN 基板上に周期的なストライプ状の開口部をもつ SiO_2 マスクパターンを形成し、この上に、ストライプ状導波路(リッジストライプ構造)を有する窒化物半導体の積層構造を形成し、前記 GaN 層上に窒化物半導体レーザ素子を形成することが示されている。基板の製造には、次の方法を用いること

が報告されている。

【0003】周期的なストライプ状の開口部をもつ SiO_2 マスクパターン(周期 $20\mu\text{m}$)を形成した下地 GaN 上に、MOCVD法(Metalorganic Chemical Vapor Deposition)により、 $15\mu\text{m}$ 厚の GaN 層を形成して、表面が平坦なウェハーを得る。これは、ELOG(Epitaxially Lateral Overgrown)と呼ばれる技術であり、ラテラル成長の利用により、欠陥を低減する手法である。さらに、通常のHVPE法(Hydride Vapor Phase Epitaxy)により $200\mu\text{m}$ 厚の GaN 層を形成し、下地を除去することで GaN 基板を製造する。こうして得られた半導体レーザの寿命特性は、 60°C において 30mW で、推定寿命 15000 時間であった。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記報告に記載の半導体レーザ素子では、基板の製造方法が、3回の結晶成長(下地成長、MOCVD成長、HVPE成長)を必要としており、複雑で、生産性に問題があった。また、レーザ発振寿命もまだ十分でなく、さらに高温で高出力(例えば、 70°C 、 60mW)の条件での寿命が十分でなかった。

【0005】本発明はこのような点に鑑みてなされたもので、レーザ発振寿命の一層優れた半導体レーザ素子およびその簡便な製造方法を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】本明細書で説明する窒化物半導体基板とは、少なくとも $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、 $x+y+z=1$)で構成された基板である。さらに、窒化物半導体基板は、その構成成分である窒素元素の約20%以下が、As、PおよびSbの元素群のうち少なくともいずれかの元素で置換されても構わない。

【0007】窒化物半導体基板として、最も好ましくは、二元結晶となる GaN 基板である。二元結晶とすることで、組成が一定となり、基板として安定した特性のものが得られやすくなるとともに、その上にエピタキシャル成長を行う際にも、組成の変化が無くなる。また、 GaN とすることで、良好な導電性が得られるようになる。次いで、 AlGaIn 基板である。 AlGaIn 基板のように、屈折率が GaN よりも小さい材料を基板として用いることで、紫外~青色領域の半導体レーザを上記材料系で構成する場合、レーザ光の活性層への光閉じ込めが良好になる。

【0008】また、窒化物半導体基板は、 n 型もしくは p 型のドーパント等の不純物が添加されていても構わない。不純物としては、Cl、O、S、Se、Te、C、Si、Ge、Zn、Cd、MgおよびBe等を用いることができる。その不純物の総添加量は $5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 以下が好ましい。窒化物半導体基板が n 型導電性を有するための不純物は、前記不純物

群のうち、Si、Ge、O、Se、Clのいずれかが特に好ましい。

【0009】本明細書で説明する窒化物半導体基板に積層された窒化物半導体層とは、少なくとも $Al_xGa_yIn_zN$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、 $x+y+z=1$)で構成された層である。窒化物半導体層は、その構成成分である窒素元素の約20%以下が、As、PおよびSbの元素群のうち少なくともいずれかの元素で置換されても構わない。

【0010】また、窒化物半導体層は、n型もしくはp型のドーパント等の不純物が添加されていても構わない。不純物としては、Cl、O、S、Se、Te、C、Si、Ge、Zn、Cd、MgおよびBe等を用いることができる。その不純物の総添加量は $5 \times 10^{16}/cm^3$ 以上 $5 \times 10^{20}/cm^3$ 以下が好ましい。窒化物半導体層がn型導電性を有するための不純物は、前記不純物群のうち、Si、Ge、S、Se、Teのいずれかが特に好ましく、p型導電性を有するための不純物はMg、Cd、Beのいずれかが特に好ましい。

【0011】本明細書で説明する活性層とは、井戸層もしくは井戸層と障壁層から構成された層の総称を指すものとする。例えば、単一量子井戸構造の活性層は、1つの井戸層のみから構成されるか、あるいは、障壁層/井戸層/障壁層から構成される。また、多重量子井戸構造の活性層は複数の井戸層と複数の障壁層から構成される。

【0012】なお、結晶の面や方位を示す指数が負の場合、絶対値の上に横線を付して表記するのが結晶学の決まりであるが、本明細書では、そのような表記ができないため、絶対値の前に負号「-」を付して負の指数を表す。

【0013】前記目的を達成するために、本発明では、窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子は、窒化物半導体基板がストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有し、窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、レーザ光導波領域が低転位領域上に位置して転位集中領域と略平行であり、レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離dが $40 \mu m$ 以上である構成とする。窒化物半導体層のレーザ光導波領域を窒化物半導体基板の転位集中領域から $40 \mu m$ 以上ずらして低転位領域上に位置させることで、レーザ光導波領域への基板の転位の影響が抑えられ、レーザ発振寿命の長い半導体レーザ素子となる。

【0014】本発明ではまた、窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子は、窒化物半導体基板が、互いに略平行な複数のストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有し、窒化物半導体層が

ストライプ状のレーザ光導波領域を有し、レーザ光導波領域が低転位領域上に位置して転位集中領域と略平行であり、レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離dが $40 \mu m$ 以上であり、隣り合う転位集中領域間の中央線部分を低転位領域中央領域とするとき、レーザ光導波領域とこれに最近接の低転位領域中央領域との水平方向の距離tが $30 \mu m$ 以上である構成とする。窒化物半導体基板に転位集中領域が複数存在するときは、低転位領域の中央部に周囲とは少し性質の異なる領域が生じることがある。この低転位領域中央領域からレーザ光導波領域を $30 \mu m$ 以上ずらすことで、一層レーザ発振寿命の長い半導体レーザ素子となる。

【0015】本発明ではまた、窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子は、窒化物半導体基板がストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有し、低転位領域がストライプ状の高ルミネッセンス領域を有し、転位集中領域と高ルミネッセンス領域が略平行であり、窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、レーザ光導波領域が低転位領域上に位置して転位集中領域と略平行であり、レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離dが $40 \mu m$ 以上であり、レーザ光導波領域とこれに最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離tが $30 \mu m$ 以上である構成とする。高ルミネッセンス領域は周囲とは少し性質の異なる領域であり、この領域からレーザ光導波領域を $30 \mu m$ 以上ずらすことで、長寿命の半導体レーザ素子となる。

【0016】窒化物半導体基板における隣り合う転位集中領域間の距離Pは $140 \mu m$ 以上であることが望ましい。製造に際し、レーザ光導波領域を転位集中領域からずらすのを容易にするためである。

【0017】また、この距離Pは $1000 \mu m$ 以下であることが望ましい。低転位領域のうちレーザ光導波領域の下方に位置しない不必要な部分が過大になるのを避けるためである。

【0018】窒化物半導体基板としては、その[1-100]方向に転位集中領域が略平行なものを用いることができる。

【0019】本発明ではまた、窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子は、窒化物半導体基板がストライプ状の高ルミネッセンス領域を有し、窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、レーザ光導波領域が高ルミネッセンス領域と略平行であり、レーザ光導波領域と最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離tが $30 \mu m$ 以上である構成とする。周囲とは少し性質の異なる高ルミネッセンス領域からレーザ光導波領域を $30 \mu m$ 以上ずらすことで、長寿命の半導体レーザ素子となる。

【0020】窒化物半導体基板としては、その〔1-100〕方向に高ルミネッセンス領域が略平行なものをを用いることができる。

【0021】窒化物半導体層は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) から構成される井戸層を含有する量子井戸活性層を有するものとする。ことができる。

【0022】また、窒化物半導体層は、As、PおよびSbのうち少なくともいずれかの元素を含む窒化物半導体から構成される井戸層を含有する量子井戸活性層を有するものとする。ことができる。

【0023】本発明では、半導体光学装置に上記の窒化物半導体レーザ素子を光源として備えるようにする。

【0024】本発明ではまた、互いに略平行な複数のストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有する窒化物半導体基板上に、ストライプ状のレーザ光導波領域を備えた窒化物半導体の積層構造を含有する窒化物半導体層を形成する工程を含む窒化物半導体レーザ素子の製造方法において、レーザ光導波領域を低転位領域上に転位集中領域と略平行に設けるとともに、レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離dを40 μm 以上とするようにする。このようにすると、レーザ光導波領域への基板の転位の影響を抑えることができ、レーザ発振寿命の長い半導体レーザ素子が得られる。

【0025】ここで、隣り合う転位集中領域間の中央線部分を低転位領域中央領域とすると、レーザ光導波領域とこれに最近接の低転位領域中央領域との水平方向の距離tを30 μm 以上とするようにしてもよい。周囲とは少し性質の異なる可能性のある低転位領域中央領域からレーザ光導波領域をずらすことで、一層長寿命の半導体レーザ素子を得ることができる。

【0026】低転位領域中に転位集中領域と略平行なストライプ状の高ルミネッセンス領域を有する窒化物半導体基板を用いるときは、レーザ光導波領域とこれに最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離tを30 μm 以上とするようにしてもよい。周囲とは少し性質の異なる高ルミネッセンス領域からレーザ光導波領域をずらすことで、一層長寿命の半導体レーザ素子を得ることができる。

【0027】隣り合う転位集中領域間の距離Pが140 μm 以上の窒化物半導体基板を用いるとよい。レーザ光導波領域を転位集中領域からずらすことが容易になる。

【0028】また、この距離Pが1000 μm 以下の窒化物半導体基板を用いるとよい。低転位領域のうちレーザ光導波領域の下方に位置しない不必要な部分の大きい半導体レーザ素子となるのを避けることができ、また、歩留まりも向上する。

【0029】本発明ではまた、互いに略平行な複数のストライプ状の高ルミネッセンス領域を有する窒化物半導体基板上に、ストライプ状のレーザ光導波領域を備えた

窒化物半導体の積層構造を含有する窒化物半導体層を形成する工程を含む窒化物半導体レーザ素子の製造方法において、レーザ光導波領域を高ルミネッセンス領域と略平行に設けるとともに、レーザ光導波領域とこれに最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離tを30 μm 以上とするようにする。この場合も、長寿命の半導体レーザ素子を得ることができる。

【0030】転位集中領域を有する窒化物半導体基板としては、ファセット面{11-22}面が表出して鋸歯状の凹凸形状となっている表面を有し、転位集中領域が表面の凹凸形状の底部の下方に位置するものを用いることができる。

【0031】また、高ルミネッセンス領域を有する窒化物半導体基板としては、ファセット面{11-22}面が表出して鋸歯状の凹凸形状となっている表面を有し、高ルミネッセンス領域が表面の凹凸形状の頂上部の下方に位置するものを用いることができる。

【0032】

【発明の実施の形態】＜実施の形態1＞図1は本発明の実施の形態1の半導体レーザ素子1を示す断面模式図である。図1は、本実施の形態の半導体レーザ素子1を、光出射方向から見た図である。図1において、10はn型Ga_{0.99}N基板であり、基板10中には、転位集中領域11が存在し、転位集中領域11以外の部分は低転位領域となっている。また、低転位領域中には、さらに転位集中領域11に平行して高ルミネッセンス領域12が存在する。基板10上には、窒化物半導体層（エピタキシャル成長層）13が形成されている。窒化物半導体層13中には、レーザ光導波領域14が位置している。また、窒化物半導体層13上面および基板10下面には、電極15、16がそれぞれ形成されている。図1の断面図には現れていないが、転位集中領域11、高ルミネッセンス領域12およびレーザ光導波領域14は、図1の奥行き方向に延伸しており、互いに略平行の配置となっている。

【0033】本実施の形態の半導体レーザ素子1を上面側から見たとき（平面視）、レーザ光導波領域14と転位集中領域11との距離をd、レーザ光導波領域14と高ルミネッセンス領域12との距離をtとしたとき、 $d = 80\mu\text{m}$ 、 $t = 120\mu\text{m}$ とした。なお、本明細書において、距離dおよびtは各ストライプ状のレーザ光導波領域、転位集中領域、高ルミネッセンス領域の中心位置間の距離から規定されるものとする。

【0034】以下に、本実施の形態の半導体レーザ素子1の製造方法について解説しつつ、さらに詳しくその構造についても説明する。

【0035】（Ga_{0.99}N基板の作製方法）まず、n型Ga_{0.99}N基板10の結晶成長方法の概略を述べる。Ga_{0.99}Nの結晶は、ファセット面からなる斜面が表出するようにして、その斜面を維持しながら成長させる。つまり、斜面

を成長方向に次第に移動させていく。これにより、斜面の途中に発生する転位が斜面の下端に伝搬して集合し、斜面の下端であった部位が転位集中領域、斜面の途中であった部位が低転位領域となる。

【0036】転位集中領域にはいくつかの状態がある。例えば多結晶となることがある。また、周囲の低転位領域に対して僅かに傾斜した単結晶となることもある。さらに、周囲の低転位領域の成長方向が $[0001]$ 方向であるのに対して、成長方向が逆に $[000-1]$ 方向となることもある。このため、転位集中領域と低転位領域の間には明確な境界が生じる。

【0037】斜面を成長方向に移動させるため、ファセット面を最初にどのような形状で発生させるかにより、転位集中領域の形状を規定することができる。上下を逆にした(頂点が下で底面が上の)角錐の側面のようなファセット面を最初に発生させておけば、転位はその角錐の頂点の部位に集まり、転位集中領域は成長方向に平行な直線状となってピットを形成する。また、断面がV字状の溝の側面のようなファセット面を最初に発生させておけば、転位はその溝の底の直線状の部位に集まり、転位集中領域は成長方向に平行な面状となってストライプを形成する。

【0038】最初に生じさせるファセット面の種としては、結晶成長を妨げるマスクを利用することができる。マスクを設けていない部位で結晶成長が始まって、マスクのない部位とある部位との境界にファセット面が生じ、水平方向への成長によってマスク上でファセット面が接し合い、その接点が転位集中領域の開始位置となる。ファセット面が接し合った後は、垂直方向(本来の成長方向)への結晶成長が安定して進み、ファセット面はそのまま成長方向に移動し、転位集中領域は成長方向に伸びていく。結晶成長を妨げるマスクをドット状とすれば、上下が逆の角錐の側面のようなファセット面を発生させることができ、マスクを直線状とすれば、断面がV字状の溝の側面のようなファセット面を発生させることができる。マスクとしては非結晶または多結晶の層を設ければよく、例えば SiO_2 の薄膜を基体表面に形成しておく。

【0039】結晶成長後、その表面を研磨して鏡面化することで、半導体層を積層しうる基板が得られる。本実施の形態では、V字状にファセット面を生じさせて、転位集中領域がストライプ状となるようにするか、あるいは、ドットを取り巻く形状のファセット面を短い周期で多数生じさせて、転位集中領域が巨視的にストライプ状となるようにする。

【0040】n型Ga_{0.99}N基板10の具体的な製造方法を、図2を参照して説明する。支持基体21上に、HVPE法により、n型Ga_{0.99}N層22を、ファセット面 $\{11-22\}$ 面23が成長中の表面に主として表出するように成長させる。その結果、表面の断面図形は鋸歯状の

凹凸形状となる。ただし、凸部の頂点付近には、わずかに、 $\{0001\}$ 面26が表出した部分がストライプ状に見られた。図2(a)は、この状態を説明した断面図(一部のみ表示)である。

【0041】ここで、HVPE法というのは、ホットウォール型の反応炉の上流部にGaポートを設けて加熱したGa融液にHClガスを吹き込むようにし、反応炉の下流部に基体を設けてNH₃を吹き込むようにしておき、加熱したGaメタル(融液)にHClを吹き込んでGaClを合成し、下方へ送り、下方でNH₃と反応させGa_{0.99}Nを合成して、Ga_{0.99}Nが基体に堆積するようにしたものである。

【0042】支持基体21としては2インチ(111)GaAsウェハを用いた。基体21の材料に特に制約はなく、一般的なサファイアを用いることも可能であるが、後に切除するため、このようにGaAsを材料として用いて無駄を抑えるのが好ましい。

【0043】上記凹凸はピッチ $P=400\mu\text{m}$ の周期構造であり、図面奥行き方向に畝状に延びている形状となっている。このように、凹凸の位置を規定するためには、基体21上にあらかじめ上記凹部に対応した SiO_2 等のマスクを形成しておき、これを種としてファセットが表出する状態で、結晶成長を行えば良い。つまりマスクは、Ga_{0.99}N結晶の $[1-100]$ 方向に平行になるように、ピッチ $P=400\mu\text{m}$ でストライプ状に配置されており、その形状は、連続したストライプ状、あるいは略一定間隔で直線上に位置する多数のドット状である。

【0044】ファセット $\{11-22\}$ 面が表出した状態で、結晶成長を持続させる手法(成長条件)については、本出願人が先に特願平11-273882号に詳細に開示している。なお、成長時にOをドーピングすることで、成長する結晶をn型とした。

【0045】このような成長モードを保ったまま、さらにGa_{0.99}N結晶の形成を続けることで、基体21上に高さ30mmのインゴットを作製した。図2(b)は、インゴットを示した図である。

【0046】このインゴットを、スライサーによりスライス切断加工して薄片(n型Ga_{0.99}N基板)を得た。薄片を研磨加工して、表面が平坦な2インチ(約5cm)径、厚さ350 μm のn型Ga_{0.99}N基板10を得た。エピタキシャル成長を行うための表面は鏡面研磨仕上げとした。なお、この表面は、ほぼ $\{0001\}$ 面としたが、上にエピタキシャル成長される窒化物半導体層13のモフォロジーが平坦で良好になるためには、 $\{0001\}$ 面から任意の方向に $0.2\sim 1^\circ$ の範囲の、比較的小さいオフ角度を有していることが望ましく、特に表面の平坦性が最小になるようにするためには、 $0.4\sim 0.8^\circ$ の範囲とすることが好ましかった。図2(c)は、こうして得られたn型Ga_{0.99}N基板10の断面図(一部のみ

表示)であり、図2(d)は、上面図(一部のみ表示)である。

【0047】こうして得られたGa₂N基板10の評価を次のように行った。まず、n型Ga₂N基板10の表面を顕微鏡で詳細に観察した。研磨加工された表面は必ずしも平坦でなく、結晶成長時に凹部の最底部が生じていた領域(図2(a)において符号24で示した部分)に対応する領域がやや窪んでいた。

【0048】さらに、硫酸、燐酸の混酸を250℃に加熱した液にサンプルを浸してエッチングを行い、エッチピットが表面に出るようにした。その結果、結晶成長時に凹部の最底部が生じていた領域(図2(a)において符号24で示した部分)に対応する領域で、多数のエッチピットが現れ、この領域は転位(あるいは結晶欠陥)が極めて集中している領域(転位集中領域)であることが判明した。つまり、上記窪みは、この領域に対応していた。

【0049】このように窪みの部分は、転位が極めて集中しているために、研磨工程で他の部分よりも侵食されやすく、そのため生じてしまったものと考えられる。転位集中領域の幅は約10~40μmであった。それ以外の領域は、EPD(エッチピット密度)10⁴~10⁵/cm²台の低転位領域となっていた。転位集中領域のEPDは、これよりも3桁以上大きいように観察された。このように、符号11で表されるような領域は、周囲に比べて数桁も転位密度が大きくなっている部分であるため、本明細書では、「転位集中領域」と呼称した。

【0050】また、サンプルに紫外線(Hgランプ365nm輝線を用いることができる)を照射して、表面からのルミネッセンスを顕微鏡を用いて観察した(蛍光顕微鏡観察)。その結果、転位集中領域11に挟まれた低転位領域の中央に、比較的はっきりと境界をもった、周囲とコントラストが異なるストライプ状の領域が観察された。この領域は、周囲よりも肉眼で観察される発光(ルミネッセンス)が強く、やや黄色がかって明るく観察される領域である。

【0051】この領域は、結晶成長時にファセット面{0001}面が表出しつつ成長していた部分25であり、図1および図2(d)に符号12で表される領域である。このように周囲と異なって観察されるのは、ドーパントの取り込まれ具合が周囲と異なるなどの理由が考えられる。上述の事実から、本明細書では、この領域を「高ルミネッセンス領域」と呼称した。結晶成長時に、ファセット面{0001}面が表出しつつ成長していた部分25が必ずしも同一の幅をもって均一に進行するものではないために、高ルミネッセンス領域12の幅は、やや揺らぎを持っているものの、広いところで、30μm程度であった。

【0052】なお、このような高ルミネッセンス領域は、上記インゴットを作成するときの条件や、インゴッ

トにおける位置(支持基体からの距離)によっては、ほとんど形成されないこともある。しかしながら、転位集中領域11にはさまれた部分のほぼ中央の領域は、上記凹凸の頂点付近の領域に対応している部分であり、これを、本明細書では、「低転位領域中央領域」とも呼称する。本明細書において、高ルミネッセンス領域として説明する部分は、低転位領域中央領域に置き換えて考えることができる。

【0053】なお、上記Ga₂N基板10の形成のための結晶成長は、HVPE法以外の気相成長によってもよく、MOCVD法(Metalorganic Chemical Vapor Deposition)、MOC法(Metalorganic Chloride Vapor Phase Epitaxy)、昇華法などを用いても実施することができる。

【0054】Ga₂N基板10の形成のための成長に用いる基体21としては、GaAsの他にも、軸廻りに六回対称性あるいは三回対称性がある結晶基板を用いることができる。つまり結晶系としては六方晶系であるか立方晶系である結晶が挙げられる。立方晶系の場合(111)面を使えば三回対称性がある。サファイア、SiC、石英、NdGaO₃、ZnO、Ga₂N、AlNなどの六方晶系の結晶を用いることができる。Si、スピネル、MgO、GaPなどの立方晶系の(111)面基板を用いることもできる。これらはGa₂NをC面で成長させるものである。

【0055】Ga₂N基板10の形成のためのマスクの設け方にも2種類の選択肢がある。一つは基体の上に直接にマスクを形成する手法である。この場合、エピ層に先立ちマスク開口の内部の基体露出面にGa₂Nバッファ層を堆積する等の工夫を行ったほうがよい。もう一つは基体の上に予め比較的薄くGa₂N層を形成しておいて、その上にマスクを形成する手法である。後者の方が成長がスムーズに進行し、より好ましい場合が多い。

【0056】また、ここでは基板10としてGa₂Nを用いた例を説明したが、「課題を解決するための手段」の欄に記載したような材料で構成される窒化物半導体基板に置換してもよい。

【0057】従来技術に示した窒化物半導体基板の製造方法では、基板結晶の成長を進行させるに従って、横方向成長技術(ELOG技術)を用いることで、転位を低減しているが、転位(欠陥)が生じる位置は特に制御されず、結晶成長が進むに従って、転位は面内に一様に分布するようになる。一方、本発明で用いる窒化物半導体基板では、転位集中領域の位置が、基板結晶の成長を通じて、所定の位置(ピッチが数100μmオーダである)に制御される。従来技術のGa₂N基板と、本発明で用いる窒化物半導体基板には、このような違いがある。

【0058】そのため、同程度の転位密度の基板を得ようとする場合、本実施の形態で説明する基板結晶の製造方法の方が、結晶成長回数が少なくすみ、生産性が良

好になる。このような基板を用いた場合に、半導体レーザ素子におけるレーザ光導波領域がどのような位置に設けられれば適当であるかについては、従来知られていなかった。この点については、後に詳細に説明する。

【0059】(窒化物半導体層のエピタキシャル成長)次に、 n 型Ga_{0.9}N基板10上に窒化物半導体層13等を形成して半導体レーザ素子1を作製する方法について、図3を参照して解説する。図3は、図1の半導体レーザ素子1を、窒化物半導体層13の層構造を詳細に示すように表した模式図であり、基板10中の上記構造については記載を省略した。

【0060】MOCVD装置を用いて、V族原料のNH₃とIII族原料のTMGa(トリメチルガリウム)またはTEGa(トリエチルガリウム)に、ドーパント原料としてのSiH₄を加え、 n 型Ga_{0.9}N基板10に、基板温度1050℃で、膜厚3μmの n 型Ga_{0.9}N層102を形成した。次いで、800℃の基板温度で、上記原料にIII族原料としてのTMIn(トリメチルインジウム)を加え、 n 型In_{0.07}Ga_{0.93}Nクラック防止層103を40nm成長させた。次に、基板温度を1050℃に上げ、TMAI(トリメチルアルミニウム)またはTEAI(トリエチルアルミニウム)のIII族原料も用いて、1.2μm厚の n 型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層104を成長させた。 n 型不純物としてSiを $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 添加した。続いて、 n 型Ga_{0.9}N光ガイド層105(Si不純物濃度 $1 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$)を0.1μm成長させた。

【0061】その後、基板温度を750℃に下げ、3周期、厚さ4nmのIn_{0.1}Ga_{0.9}N井戸層と厚さ8nmのIn_{0.01}Ga_{0.99}N障壁層から成る活性層(多重量子井戸構造)106を、障壁層/井戸層/障壁層/井戸層/障壁層/井戸層/障壁層の順序で成長させた。その際、障壁層または障壁層と井戸層の両方にSiH₄(Si不純物濃度は $1 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$)を添加した。障壁層と井戸層、または井戸層と障壁層との間に、1秒以上180秒以内の成長中断を実施すると、各層の平坦性が向上し、発光半値幅が減少して好ましい。

【0062】活性層にAsを添加する場合はAsH₃(アルシン)またはTBAs(ターシャリブチルアルシン)を、活性層にPを添加する場合はPH₃(ホスフィン)またはTBP(ターシャリブチルホスフィン)を、活性層にSbを添加する場合はTMSb(トリメチルアンチモン)またはTESb(トリエチルアンチモン)を、それぞれ原料に用いると良い。また、活性層を形成する際、N原料として、NH₃以外にN₂H₄(ヒドラジン)、C₂N₂H₈(ジメチルヒドラジン)あるいはNを含む有機原料を用いても構わない。

【0063】次に、基板温度を再び1050℃まで上昇させて、厚さ20nmの p 型Al_{0.3}Ga_{0.7}Nキャリアブロック層107、0.1μmの p 型Ga_{0.9}N光ガイド層

108、0.5μmの p 型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層109、および0.1μmの p 型Ga_{0.9}Nコンタクト層110を順次成長させた。 p 型不純物として原料にEtCP₂Mg(ビスエチルシクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ で添加した。 p 型Ga_{0.9}Nコンタクト層110の p 型不純物濃度は、 p 電極112の方向に向かって高くなるようにした方が好ましい。これにより p 電極形成によるコンタクト抵抗が低減する。また、 p 型不純物であるMgの活性化を妨げている p 型層中の残留水素を除去するために、 p 型層成長中に微量の酸素を混入させてもよい。

【0064】このようにして、 p 型Ga_{0.9}Nコンタクト層110を成長させた後、MOCVD装置のリアクター内を全て窒素キャリアガスとNH₃に替えて、60℃/分で温度を降下させた。基板温度が800℃になった時点で、NH₃の供給を停止し、5分間その基板温度で待機してから、室温まで降下した。ここでの基板の保持温度は650℃から900℃の間が好ましく、待機時間は、3分以上10分以下が好ましかった。また、温度の降下速度は、30℃/分以上が好ましい。

【0065】このようにして作製した成長膜をラマン測定によって評価した結果、MOCVD装置からのウェハ取り出し後の p 型化アニールを実行しなくても、成長後すでに p 型化の特性が示されていた(Mgが活性化していた)。また、 p 電極形成によるコンタクト抵抗も低下する。上記手法に加えて従来の p 型化アニールを組み合わせると、Mgの活性化率がより向上して好ましかった。

【0066】In_{0.07}Ga_{0.93}Nクラック防止層103は、In組成比が0.07以外であっても構わないし、InGa_{0.93}Nクラック防止層103自体がなくても構わない。しかしながら、クラッド層104とGa_{0.9}N基板10との格子不整合が大きくなる場合は、前記InGa_{0.93}Nクラック防止層103を挿入した方がクラック防止の点でより好ましい。また、クラックを防止するために、各 n 型層における n 型の不純物として、Siに代えてGeを用いることも好ましい。

【0067】活性層106は、障壁層で始まり障壁層で終わる構成であるが、井戸層で始まり井戸層で終わる構成であってもよい。また、井戸層の層数は、前述の3層に限らず、10層以下であれば閾値電流密度が低く、室温連続発振が可能であった。特に2層以上6層以下のとき閾値電流密度が低く好ましかった。さらに上記で説明した活性層に、Alを含有するようにしてもよい。

【0068】また、ここでは活性層106を成す井戸層と障壁層の両層にSiを所要量添加したが、不純物を添加しなくても構わない。しかしながら、Siのような不純物を活性層に添加した方が発光強度は強かった。このような不純物としては、Si以外に、O、C、Ge、Z

nおよびMgのうちのいずれか、またはこれらの2以上を組み合わせる用いることができる。また、不純物の添加量の総和は、約 $1 \times 10^{17} \sim 8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 程度が好ましかった。さらに、不純物を添加する層は井戸層と障壁層の両層に限らず、片方の層のみに不純物を添加しても良い。

【0069】p型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ キャリアブロック層107は、この組成以外であっても構わない。Inを添加した AlGaIn とすれば、より低温での成長でp型化するので、結晶成長時に活性層106が受けるダメージを低減することができて、好ましい。なお、キャリアブロック層107自体が無くても構わないが、これを設けた方が閾値電流密度が低かった。これは、キャリアブロック層107が活性層106にキャリアを閉じ込める働きがあるからである。キャリアブロック層107のAl組成比は、高くすることによってキャリアの閉じ込めが強くなって好ましい。また、キャリアの閉じ込めが保持される程度までAl組成比を小さくすれば、キャリアブロック層内のキャリア移動度が大きくなり電気抵抗が低くなって好ましい。

【0070】また、ここでは、p型クラッド層109とn型クラッド層104として、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 結晶を用いたが、Alの組成比が0.1以外の AlGaIn 3元結晶であっても構わない。Alの混晶比が高くなると活性層106とのエネルギーギャップ差及び屈折率差が大きくなり、キャリアや光が活性層に効率良く閉じ込められ、レーザ発振閾値電流密度を低減することができる。また、キャリアおよび光の閉じ込めが保持される程度までAl組成比を小さくすれば、クラッド層でのキャリア移動度が大きくなり、素子の動作電圧を低くすることができる。この点を考慮してp型クラッド層109のAl組成比を0.06~0.09程度にすることも、好ましい。

【0071】n型 AlGaIn クラッド層104の厚さは、 $0.7 \mu\text{m} \sim 1.5 \mu\text{m}$ が好ましい。これにより、垂直横モードの単峰化と光閉じ込め効率が増し、レーザの光学特性の向上とレーザ閾値電流密度の低減が図れる。

【0072】また、クラッド層104、109は、上記では AlGaIn 3元混晶としたが、 AlInGaIn 、 AlGaInP 、 AlGaInAs 等の4元混晶であっても良い。さらに、p型クラッド層109は、電気抵抗を低減するために、p型 AlGaIn 層とp型 GaIn 層からなる超格子構造、p型 AlGaIn 層とp型 AlGaIn 層からなる超格子構造、またはp型 AlGaIn 層とp型 InGaIn 層からなる超格子構造を有していても良い。

【0073】ここでは、MOCVD装置による結晶成長方法を説明したが、分子線エピタキシー法(MBE)、ハイドライド気相成長法(HVPE)を用いても構わない。

【0074】続いて、窒化物半導体層13の各層がn型 GaIn 基板10上に形成されたエピウェハーを、MOCVD装置から取り出して、窒化物半導体レーザ素子チップに加工するプロセス工程を説明する。

【0075】(素子化プロセス)レーザ光導波領域14であるリッジストライプ部を、n型 GaIn 基板10に対して、図1を用いて説明した所要の位置に形成する。これは、エピウェハー表面側より、p型クラッド層109の途中または下端までを、ストライプ状の部分を残してエッチングすることにより行う。ここで、ストライプ幅は $1 \sim 3 \mu\text{m}$ 、好ましくは $1.3 \sim 2 \mu\text{m}$ とし、また、エッチング底面のp型ガイド層108からの距離は、 $0 \sim 0.1 \mu\text{m}$ とした。その後、リッジストライプ部以外の部分に絶縁膜113を形成した。ここで、絶縁膜113としては AlGaIn を用いた。エッチングされずに残ったp型 GaIn コンタクト層110は露出しているので、この部分および絶縁膜113上に、p電極112をPd/Mo/Auの順序で蒸着して形成した。

【0076】絶縁膜113としては上記以外に珪素、チタン、ジルコニア、タンタル、アルミニウム等の酸化物もしくは窒化物を用いることもでき、また、p電極112の材料として他に、Pd/Pt/Au、Pd/Au、またはNi/Auのいずれかを用いても構わない。

【0077】さらに、エピウェハー裏面側(基板側)を研磨することにより、ウェハーの厚さを $80 \sim 200 \mu\text{m}$ に調整し、後にウェハーの分割を行いやすいようにした。n電極111は、基板の裏側にHf/Alの順序で形成した。n電極111の材料として他に、Hf/Al/Mo/Au、Hf/Al/Pt/Au、Hf/Al/W/Au、Hf/Au、Hf/Mo/Auや、これらのうちのHfをTi、Zrに置き換えたものを用いても構わない。

【0078】最後に、エピウェハーを、リッジストライプ方向に対して垂直方向に劈開し、共振器長 $600 \mu\text{m}$ のファブリ・ペロー共振器を作製した。共振器長は $250 \mu\text{m}$ から $1000 \mu\text{m}$ が好ましい。この工程により、ウェハーは個々のレーザ素子が横に連なったバー状の形態となった。ストライプが $\langle 1-100 \rangle$ 方向に沿って形成された窒化物半導体レーザ素子の共振器端面は、窒化物半導体結晶の $\{1-100\}$ 面である。劈開はウェハー全面にスクライバーにより野書き傷をつけて行うのではなく、ウェハーの一部、例えば、ウェハーの両端にのみ、あるいは、チップ両端に対応する部分にのみスクライバーによって野書き傷をつけ、これを起点に劈開した。なお、端面で帰還させる手法以外に、内部に回折格子を設けて帰還させるDFB(Distributed Feedback)、外部に回折格子を設けて帰還させるDBR(Distributed Bragg Reflector)を用いても構わない。

【0079】ファブリ・ペロー共振器の共振器端面を形成した後、この端面に約80%の反射率を有するSiO

TiO_2 と誘電体膜を交互に蒸着し、誘電体多層反射膜を形成した。誘電多層反射膜は他の誘電体材料で形成しても構わない。さらにこの後、バーを個々のレーザ素子に分割することで、図1の半導体レーザ素子1を得た。レーザチップの中央にレーザ光導波領域14（リッジストライプ）を配置し、レーザ素子1の横幅Wは $400\mu\text{m}$ とした。

【0080】もともとのn型Ga_{0.4}N基板10にはピッチ $P=400\mu\text{m}$ で転位集中領域11が配置され、各低転位領域の中央部に高ルミネッセンス領域12が配置され、また、図1を用いて説明したように、 $d=80\mu\text{m}$ 、 $t=120\mu\text{m}$ として、各領域を配置したから、各半導体レーザ素子（チップ）には、1本の転位集中領域と、1本の高ルミネッセンス領域が含まれた。つまり、本実施の形態では、 $W=P$ であり、 $2(t+d)=P$ である。

【0081】以上のようにして図1および図3に示す窒化物半導体レーザ素子1のチップを作製した。

【0082】（半導体レーザ素子の特性）得られた窒化物半導体レーザ素子1では、最適位置に電流狭窄部分が存在することによって、レーザ出力 60mW 、雰囲気温度 70°C の条件の下、レーザ発振寿命 5000 時間以上が達成された。なお、本発明者らが前述の従来技術によって半導体レーザを作製し、同一条件で試験を行ったところ、その寿命は 1000 時間程度であった。

【0083】（レーザ光導波領域と基板との位置関係）本実施の形態の窒化物半導体基板10は、上述のごとく、ストライプ状の転位集中領域、低転位領域、高ルミネッセンス領域あるいは低転位領域中央領域のような構造を有していることを特徴とする。あるいは、上述のような製造方法を用いて作製されたことを特徴とする。このような窒化物半導体基板を用いて窒化物半導体レーザ素子を製造する際、窒化物半導体レーザ素子のレーザ光導波領域を窒化物半導体基板上のどの位置に形成するかによって、レーザ発振寿命が変化することを、本発明者らは見出した。以下に、距離 d および t の好ましい範囲について詳細に検討する。

【0084】図4は、 $P=600\mu\text{m}$ のn型Ga_{0.4}N基板上に、本実施の形態の半導体レーザ素子1とほぼ同様に作製し、レーザ光導波領域14の位置を変更したいいくつかの半導体レーザ素子のレーザ発振寿命を、レーザ光導波領域14と転位集中領域11との距離 d に対してプロットしたグラフである。評価した距離 d の最大値は $200\mu\text{m}$ である。評価は、レーザ出力 60mW 、雰囲気温度 70°C の条件で行った。その結果、 $d\geq 40\mu\text{m}$ で、実用寿命の 3000 時間が達成され、 $d\geq 60\mu\text{m}$ で 5000 時間以上と十分な特性が得られた。なお、寿命の測定は 5000 時間までしか行っておらず、図4中の上向きの矢印はレーザ発振寿命が 5000 時間以上であることを示したものである。

【0085】 $d\leq 10\mu\text{m}$ の場合、レーザ光導波領域14は概ね転位集中領域11上に位置しているが、この場合、寿命数時間以下と極端に特性が劣化した。距離 d が $20\sim 30\mu\text{m}$ の場合、駆動電流が時間の経過とともに徐々に上昇する現象が見られ、これが 200mA 付近に達したときに熱暴走によりレーザ発振が不可能となった。pn接合に逆バイアスを印加してpn接合のリーク電流を評価したところ、このように、駆動電流が徐々に上昇するような素子においては、 $d\geq 60\mu\text{m}$ の素子と比較すると明らかにリーク電流が多く、これが経過時間とともに増加していた。

【0086】上記手法で作製されたGa_{0.4}N基板10の転位集中領域11の近くに形成された半導体レーザ素子では、レーザ光導波領域14付近のpn接合に転位（欠陥）が発生しているため、またはこの影響によりpn接合面が平坦でなく乱れているために、このような駆動時間の経過とともに増大するリークが発生してしまい、寿命特性が劣化したものと推定された。結果として、少なくとも $d\geq 40\mu\text{m}$ 、好ましくは、 $d\geq 60\mu\text{m}$ と設定することが必要であると判明した。

【0087】図5は、 $P=600\mu\text{m}$ のn型Ga_{0.4}N基板上10に、本実施の形態の半導体レーザ素子1とほぼ同様に作製し、レーザ光導波領域14の位置を変更したいいくつかの半導体レーザ素子のレーザ発振寿命を、レーザ光導波領域14と高ルミネッセンス領域12との距離 t に対してプロットしたグラフである。評価した距離 t の最大値は $200\mu\text{m}$ である。評価は、レーザ出力 60mW 、雰囲気温度 70°C の条件で行った。その結果、 $t\geq 30\mu\text{m}$ で、実用寿命の 3000 時間が達成され、 $t\geq 50\mu\text{m}$ で 5000 時間以上と十分な特性が得られた。なお、図5中の上向きの矢印は、図4と同様に、レーザ発振寿命が 5000 時間以上であることを表している。

【0088】 $t=0\mu\text{m}$ の場合、レーザ光導波領域14は高ルミネッセンス領域12上に位置しているが、この場合、寿命 100 時間程度に特性が劣化した。レーザ光導波領域14を高ルミネッセンス領域12近傍に配置すると、素子電圧の上昇と、駆動電流値の上昇が見られ、これにより、素子寿命が劣化してしまうものと考えられた。基板10において高ルミネッセンス領域（あるいは低転位領域中央領域）12およびその近傍には、周囲よりも抵抗の高い領域が存在しており、そのため素子電圧に影響が現れたものと考えられる。素子電圧を詳細に観察すると、 $t\geq 50\mu\text{m}$ ではほぼ一定となるが、それより小さい領域では若干上昇してきており、結果として、少なくとも $t\geq 30\mu\text{m}$ 、好ましくは、 $t\geq 50\mu\text{m}$ と設定することが必要であると判明した。

【0089】（基板の好ましい範囲）次に、Ga_{0.4}N基板10における転位集中領域11の現れるピッチ P の好ましい範囲について検討した。前述のように、Ga_{0.4}N基板

10の作製においては、ファセット面{11-22}面を表出させながら、表面の断面形状が鋸歯状の凹凸形状となるようにすることが重要である。こうすることにより、低転位領域、高ルミネッセンス領域12を発生させることができ、転位集中領域11と高ルミネッセンス領域12の双方から所要距離だけ離れた部分はレーザ導波領域を形成するに好適な領域となる。したがって、上述の効果を得る距離dの最小値 $40\mu\text{m}$ と、上述の効果を得る距離tの最小値である $30\mu\text{m}$ との和 $70\mu\text{m}$ の2倍以上を、ピッチPとして取らないと、レーザ導波領域を形成する領域が無くなってしまう。よって、距離Pの範囲は $P \geq 140\mu\text{m}$ に限定される。

【0090】また、距離Pの値は、Ga_{0.9}N基板10の形成において、凹凸形状の位置を一定に保ったまま成長が持続できるか否かの点からも限定される。なぜなら、成長の進行とともに凹凸形状の位置が初期の位置とずれてきてしまうと、ピッチPが一定しなくなり、得られたGa_{0.9}N基板10に対して所定の位置にレーザ導波領域を設定することが困難になるためである。この点からPの範囲について検討すると、 $P < 50\mu\text{m}$ 程度では、このような状態を保つことができず、 $P \geq 100\mu\text{m}$ とすることが望ましいことがわかった。

【0091】さらに、転位を転位集中領域11に集中させる機能からすると、ファセット面{11-22}面を大きく発生させたほうが良く、 $P \geq 300\mu\text{m}$ とすると、上述のように転位集中領域11と低転位領域での欠陥密度が3桁以上異なるようになって好ましかった。距離Pの上限に関しては、これらの要請からは規定されないが、あまり大きくすると、得られるインゴット表面の凹凸が大きくなり、得られるウェハの取れ数が小さくなってしまふから、 $1000\mu\text{m}$ 程度が適当である。結論として、 $140 \leq P$ が必要であり、好ましくは、 $300 \leq P$ であれば良く、あえて上限を規定するならば $P \leq 1000$ が好ましい。

【0092】＜実施の形態2＞本実施の形態2の半導体レーザ素子は実施の形態1の半導体レーザ素子1と同様であるが、距離P、d、tの値等が種々異なるものである。図6は本実施の形態の半導体レーザ素子のレーザ光導波領域14とn型Ga_{0.9}N基板の転位集中領域11、高ルミネッセンス領域12の配置関係を示す図であり、n型Ga_{0.9}N基板60のうち個々の半導体レーザ素子(チップ)とする領域を符号61、62で表している。なお、本実施の形態2および後述する実施の形態3、4においては、レーザ光導波領域14、転位集中領域11、高ルミネッセンス領域12の位置関係が実施の形態1と異なるが、各実施の形態においても実施の形態1と同様に符号1で半導体レーザ素子を示す。

【0093】本実施の形態の半導体レーザ素子1の製造方法においては、n型Ga_{0.9}N基板60の転位集中領域11のピッチPは $500\mu\text{m}$ であり、1ピッチに2本のレ

ーザ光導波領域14を配置して、ピッチあたり2個の半導体レーザ素子(チップ)1を形成する。個々の半導体レーザ素子1(領域61、62)の横幅Wは $250\mu\text{m}$ である。

【0094】一方の領域61については、レーザ光導波領域14と最近接の転位集中領域12との距離dは $100\mu\text{m}$ であり、レーザ光導波領域14と最近接の低転位領域中央領域12との距離tは $150\mu\text{m}$ である。他方の領域62については、レーザ光導波領域14と最近接の転位集中領域11との距離dは $150\mu\text{m}$ であり、レーザ光導波領域14と最近接の低転位領域間中央領域12との距離tは $100\mu\text{m}$ である。

【0095】領域61、62の幅Wと転位集中領域11のピッチPには $2W = P$ の関係があり、 $2(t + d) = P$ である。また、領域61についての距離d、tをd₁、t₁で表し、領域62についての距離d、tをd₂、t₂で表すと、 $d_1 = t_2$ 、 $d_2 = t_1$ である。

【0096】一方の領域61においては、n型Ga_{0.9}N基板60中に転位集中領域11が1本のみ存在し、高ルミネッセンス領域12は存在しない。また、他方の領域62においては、n型Ga_{0.9}N基板60中に転位集中領域11が存在せず、高ルミネッセンス領域12が1本のみ存在する。本実施の形態においても、本発明の効果の出現する距離d、t、Pの範囲は実施の形態1に記載したとおりであり、この範囲において実施の形態1で述べた効果が得られる。

【0097】＜実施の形態3＞本実施の形態3の半導体レーザ素子の製造方法は、さらに、1ピッチPあたりに作製する半導体レーザ素子(チップ)1の数を4個に増大させたものである。図7は、図6と同様に、半導体レーザ素子のレーザ光導波領域14とn型Ga_{0.9}N基板の転位集中領域11、高ルミネッセンス領域12の配置関係を示す図であり、n型Ga_{0.9}N基板70のうち個々の半導体レーザ素子(チップ)1とする領域を符号71~74で表している。

【0098】本実施の形態の半導体レーザ素子1の製造方法においては、n型Ga_{0.9}N基板70の転位集中領域11のピッチPは $800\mu\text{m}$ であり、1ピッチに4本のレーザ光導波領域14を配置して、ピッチあたり4個の半導体レーザ素子(チップ)1を形成する。各半導体レーザ素子1(領域71~74)の横幅Wは等しく、 $200\mu\text{m}$ である。順に並んだ領域71、72、73、74について、レーザ光導波領域14と最近接の転位集中領域11との距離dは、それぞれ80、280、320、 $120\mu\text{m}$ であり、レーザ光導波領域14と最近接の低転位領域中央領域12との距離tは、それぞれ320、120、80、 $280\mu\text{m}$ である。

【0099】図示したように、領域71には1本の転位集中領域11が、領域73には1本の高ルミネッセンス領域12が含まれ、領域72および領域74には転位集

中領域11、高ルミネッセンス領域12のいずれも含まれない。本実施の形態の半導体レーザ素子1の製造方法においては、 $4W=P$ であり、各レーザ光導波領域14に対して $2(t+d)=P$ である。

【0100】本実施の形態においても、本発明の効果の出現する距離 d 、 t 、 P の範囲は実施の形態1に記載したとおりであり、この範囲において実施の形態1で述べた効果が得られる。

【0101】＜実施の形態4＞本実施の形態4は、実施の形態2または3とは逆に、幅 W ＜ピッチ P とするものである。図8は、図6と同様に、本実施の形態の半導体レーザ素子のレーザ光導波領域14と n 型Ga N 基板の転位集中領域11、高ルミネッセンス領域12の配置関係を示す図であり、 n 型Ga N 基板80のうち半導体レーザ素子（チップ）1とする領域を符号81で表している。

【0102】本実施の形態の半導体レーザ素子1の製造方法においては、 n 型Ga N 基板80の転位集中領域11のピッチ P は $200\mu m$ であり、半導体レーザ素子1（領域81）の横幅 W は $300\mu m$ である。つまり、ピッチあたり2／3個の半導体レーザ素子（チップ）1を形成する（1.5ピッチに1つのチップ1を形成する）。レーザ光導波領域14と最近接の転位集中領域11との距離 d は $50\mu m$ であり、レーザ光導波領域14と最近接の低転位領域中央領域12との距離 t は $50\mu m$ である。

【0103】図示したように、1つの半導体レーザ素子（チップ）1に含まれる転位集中領域11と高ルミネッセンス領域12は、いずれも1本またはそれ以上である。本実施の形態の半導体レーザの製造方法においては、 $(2/3)W=P$ であり、各レーザ光導波領域14に対して $2(t+d)=P$ である。

【0104】本実施の形態においても、本発明の効果の出現する距離 d 、 t 、 P の範囲は実施の形態1に記載したとおりであり、この範囲において実施の形態1で述べた効果が得られる。

【0105】上記実施の形態1～4においては、1ピッチあたり半導体レーザ素子（チップ）を1個、2個、4個、2／3個形成する配置について説明したが、本発明の適用範囲はこれに限られるわけではなく、6個、1／2個、1／3個等の配置とすることもできる。さらに、Ga N 基板上の一部の素子の配置が上記 t 、 d の所要の範囲を逸脱しても構わないようにすれば、このように整数倍または簡単な分数で表せる値以外の数に設定することも可能である。

【0106】＜実施の形態5＞本実施の形態5は、実施の形態1～4で述べたリッジストライプ構造を有する窒化物半導体レーザ素子1を、電流阻止層を有する窒化物半導体レーザ素子2に替えたものである。電流阻止層を有する本実施の形態の窒化物半導体レーザ素子2につい

て、図9を参照して説明する。

【0107】本実施例の半導体レーザ素子2は、 n 型Ga N 基板200、その上に順次形成された n 型Ga N 層201、 n 型 $In_{0.07}Ga_{0.93}N$ クラック防止層203、 n 型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層204、 n 型Ga N 光ガイド層205、活性層206、 p 型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ キャリアブロック層207、 p 型Ga N 光ガイド層208、 p 型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 第1クラッド層209a、電流阻止層220、 p 型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 第2クラッド層209b、 p 型 $InGaN$ コンタクト層210および p 電極212、ならびに n 電極211、から構成される。

【0108】電流阻止層220は、 p 型電極112から注入された電流が、図9に示した電流阻止層間幅のみを通過できるように電流を阻止する層であれば良い。例えば、電流阻止層220として、 n 型 $Al_{0.25}Ga_{0.75}N$ 層を用いても良い。電流阻止層220の Al 組成比は0.25に限らず、その他の値でも構わない。本実施の形態では、電流阻止層220の開口部がレーザ光導波領域14に対応しており、本実施の形態においても、本発明の効果の出現する距離 d 、 t 、 P の範囲は実施の形態1に記載したとおりであり、この範囲において実施の形態1で述べた効果が得られる。

【0109】＜実施の形態6＞本実施の形態6は、 As 、 P および Sb の元素群のうち少なくともいずれかの元素を窒化物半導体レーザ素子1または2の活性層に含有するようにしたものである。他の構成は既に述べたとおりである。

【0110】本実施の形態では、 As 、 P および Sb の元素群のうち少なくともいずれかの元素を、窒化物半導体発光レーザ素子1、2を構成している活性層106、206のうち少なくとも井戸層に含有させる。ここで、井戸層に含有させる上記元素群の総和の組成比を X とし、井戸層の N 元素の組成比を Y とするとき、 X は Y よりも小さく、 $X/(X+Y)$ は0.3（30％）以下であり、好ましくは0.2（20％）以下である。また、上記元素群の総和の下限値は、 $1 \times 10^{18}/cm^3$ 以上である。

【0111】組成比 X が20％よりも高くなると、井戸層内の領域ごとに各元素の組成比が異なる濃度分離が次第に生じ始める。さらに、組成比 X が30％よりも高くなると、今度は濃度分離から六方晶系と立方晶系が混在する結晶系分離に移行し始めて、井戸層の結晶性が低下し始める。一方、上記元素群の総和の添加量が $1 \times 10^{18}/cm^3$ よりも小さくなると、井戸層に上記元素を含有したことによる効果が得られにくくなる。

【0112】本実施の形態による効果は、井戸層に As 、 P または Sb を含有させることによって、井戸層の電子とホールの有効質量が小さく、また、井戸層の電子とホールの移動度が大きくなる点にある。半導体レーザ

素子の場合、前者は少ない電流注入量でレーザ発振のためのキャリア反転分布が得られることを意味し、後者は活性層で電子とホールが発光再結合によって消滅しても新たに電子・ホールが拡散により高速に注入されることを意味する。即ち、現在報告されているような活性層にAs、P、Sbのいずれの元素をも含有しないInGa_N系窒化物半導体レーザ素子と比べて、本実施の形態の窒化物半導体レーザ素子は、閾値電流密度が低く、雑音特性にも優れたものとなる。本実施の形態においても、本発明の効果の出現する距離d、t、Pの範囲は実施の形態1に記載したとおりである。

【0113】＜実施の形態7＞本実施の形態7は、基板上に各窒化物半導体層を形成する際に、選択成長技術を用いるものであり、他は上述の実施の形態のいずれかと同様である。

【0114】選択成長技術は、成長を抑制する材料（例えばSiO₂等の酸化物や、SiN、AlNなどの窒化物）からなり開口部を有するマスクを、基板上にあらかじめ設けておき、基板上に各窒化物半導体層を形成する際、その成長初期に、横方向への成長が進行するように制御する技術である。これにより、各窒化物半導体層の成長に伴って生じうるクラックが有効に防止される。マスクは、転位集中領域11上、高ルミネッセンス領域12上に対応して設けることができ、また、これらの領域に関わらず設けることもできる。少なくともレーザ導波領域14の直下にマスクを設けることが、レーザ導波領域に発生しうるクラックを効果的に防止できる点から望ましい。

【0115】上述の各実施の形態1～7においては、基板としてGa_Nを用いる例を説明したが、「課題を解決するための手段」に記載したような材料で構成される窒化物半導体基板に置換することもできる。また、窒化物半導体基板上に成長させる各窒化物半導体層の材料についても、「課題を解決するための手段」に記載したような窒化物半導体材料に置換することができる。

【0116】＜実施の形態8＞本実施の形態8は、本発明の窒化物半導体レーザ素子を半導体光学装置に適用したものである。

【0117】本発明の窒化物半導体レーザ素子（330～550nmの発振波長）は、半導体光学装置、例えば光ピックアップ装置に利用すると、以下の点において好ましい。各窒化物半導体レーザ素子は、高出力（30mW）であり、高温雰囲気中（60℃）でも安定して動作し、しかもレーザ発振寿命が長いことから、高い信頼性が要求される高密度記録再生用光ディスク装置に最適である（発振波長が短いほど、より高密度に記録再生が可能となる）。

【0118】図10に、本発明の窒化物半導体レーザ素子を半導体光学装置に利用した一例として、光ディスク装置（光ピックアップを有する装置、例えば、DVD装

置など）の概略構成を示す。光ディスク装置300は、光ピックアップ301、制御回路302、ディスクDを回転させるモータ303、および光ピックアップ301を移動させるモータ304を備えている。光ピックアップ301には、半導体レーザ素子305、ビームスプリッタ306、ミラー307、対物レンズ308、および光検出器309が含まれている。半導体レーザ素子305は、上述のいずれかの実施の形態の窒化物半導体レーザ素子1、2である。

【0119】情報の記録に際し、半導体レーザ素子305が発するレーザ光Lは、制御回路302によって入力情報に応じて変調され、ビームスプリッタ306、ミラー307および対物レンズ308を経てディスクDの記録面上に収束して、情報をディスクDに記録する。また、半導体レーザ素子305が無変調のレーザ光Lを発している間に、ディスクDの記録面のうちレーザ光Lが収束する部位の磁界を入力情報に応じて変調することによっても、情報を記録することができる。情報の再生に際しては、ディスクD上のビット配列によって光学的に変化を受けたレーザ光Lが、対物レンズ308、ミラー307、ビームスプリッタ306を経て光検出器309に入射し、光検出器309によって再生信号とされる。半導体レーザ素子305が出力するレーザ光Lのパワーは、例えば、記録時には30mW、再生時には5mW程度である。

【0120】本発明の半導体レーザ素子は、光ピックアップ装置を有するこのような光ディスク装置の他に、例えば、レーザプリンター、バーコードリーダー、光の三原色（青色、緑色、赤色）レーザによるプロジェクター等にも利用可能であり、高出力で高寿命の光源として適している。

【0121】

【発明の効果】窒化物半導体層のレーザ光導波領域を窒化物半導体基板の転位集中領域から40μm以上ずらすようにした本発明では、レーザ光導波領域への基板の転位の影響が抑えられ、レーザ発振寿命の長い窒化物半導体レーザ素子が得られる。

【0122】また、窒化物半導体層のレーザ光導波領域を窒化物半導体基板の低転位領域中央領域または高ルミネッセンス領域から30μm以上ずらすようにした本発明では、基板のうち性質が一定の部位の上にレーザ光導波領域を位置させることができ、やはり、レーザ発振寿命の長い窒化物半導体レーザ素子が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 実施の形態1の半導体レーザ素子の構造を模式的に示す縦断面図。

【図2】 本発明における窒化物半導体基板の製造工程を模式的に示す拡大縦断面図（a）、斜視図（b）、縦断面図（c）および平面図（d）。

【図3】 実施の形態1の半導体レーザ素子の層構成を

模式的に示す縦断面図。

【図4】 窒化物半導体レーザ素子におけるレーザ光導波領域と転位集中領域の距離とレーザ発振寿命との関係を示す図。

【図5】 窒化物半導体レーザ素子におけるレーザ光導波領域と高ルミネッセンス領域の距離とレーザ発振寿命との関係を示す図。

【図6】 実施の形態2の半導体レーザ素子の製造方法を模式的に示す平面図。

【図7】 実施の形態3の半導体レーザ素子の製造方法を模式的に示す平面図。

【図8】 実施の形態4の半導体レーザ素子の製造方法を模式的に示す平面図。

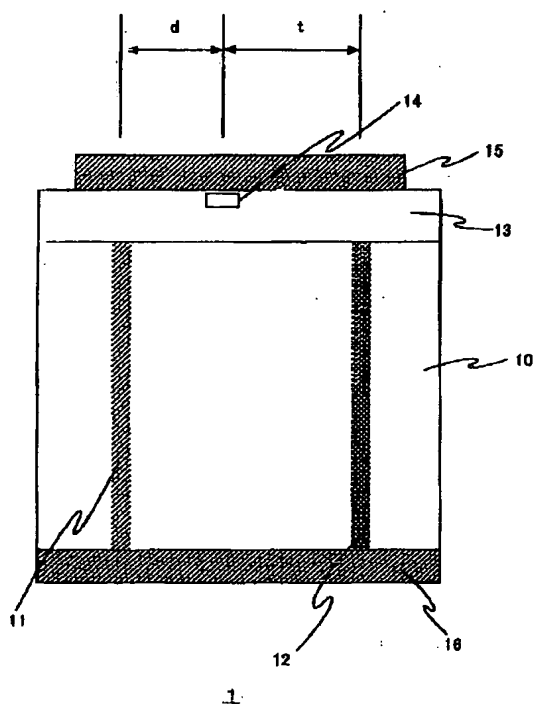
【図9】 実施の形態1～4の半導体レーザ素子の他の層構成を模式的に示す縦断面図。

【図10】 実施の形態8の半導体光学装置の概略構成を示すブロック図。

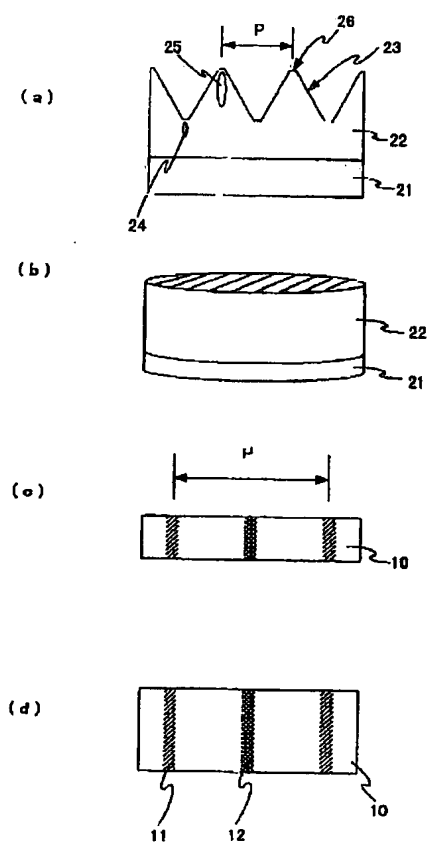
【符号の説明】

1、2	窒化物半導体レーザ素子	81	窒化物半導体レーザ素子形成領域
10	n型Ga _{0.9} N基板	102	n型Ga _{0.9} N層
11	転位集中領域	103	n型InGa _{0.47} Nクラック防止層
12	低転位領域中央領域（高ルミネッセンス領域）	104	n型AlGa _{0.3} Nクラッド層
13	窒化物半導体層	105	n型Ga _{0.9} N光ガイド層
14	レーザ光導波領域	106	InGa _{0.47} N活性層
15	p電極	107	p型AlGa _{0.3} Nキャリアブロック層
16	n電極	108	p型Ga _{0.9} N光ガイド層
21	支持基体	109	p型AlGa _{0.3} Nクラッド層
22	n型Ga _{0.9} N層	110	p型Ga _{0.9} Nコンタクト層
23	{11-22}面	111	n電極
24	凹凸底部下部	112	p電極
25	凹凸頂上部	113	絶縁膜
26	{0001}面	200	n型Ga _{0.9} N基板
60	n型Ga _{0.9} N基板	201	n型Ga _{0.9} N層
61、62	窒化物半導体レーザ素子形成領域	203	n型InGa _{0.47} Nクラック防止層
70	n型Ga _{0.9} N基板	204	n型AlGa _{0.3} Nクラッド層
71～74	窒化物半導体レーザ素子形成領域	205	n型Ga _{0.9} N光ガイド層
80	n型Ga _{0.9} N基板	206	活性層
		207	p型AlGa _{0.3} Nキャリアブロック層
		208	p型Ga _{0.9} N光ガイド層
		209a	p型AlGa _{0.3} N第1クラッド層
		209b	p型AlGa _{0.3} N第2クラッド層
		210	p型InGa _{0.47} Nコンタクト層
		211	n電極
		212	p電極
		220	電流阻止層
		300	光ディスク装置
		301	光ピックアップ
		302	制御回路
		303、304	モータ
		305	窒化物半導体レーザ素子
		306	ビームスプリッタ
		307	ミラー
		308	対物レンズ
		309	光検出器

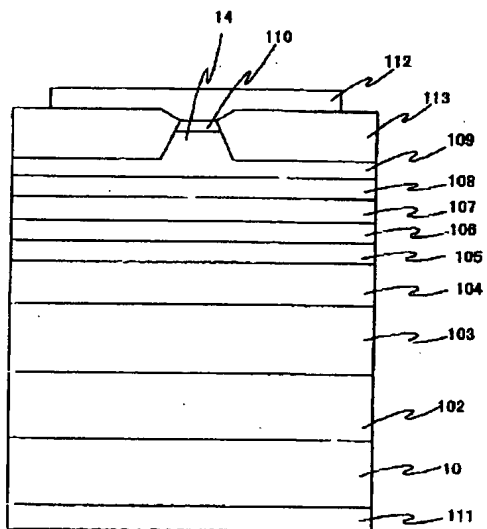
【図1】



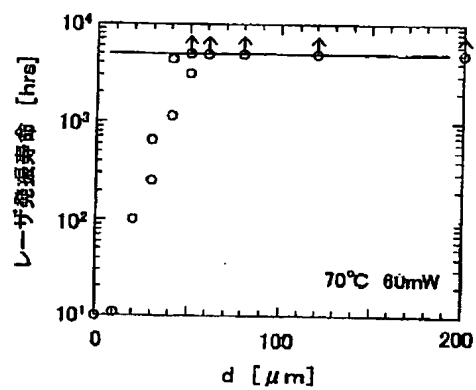
【図2】



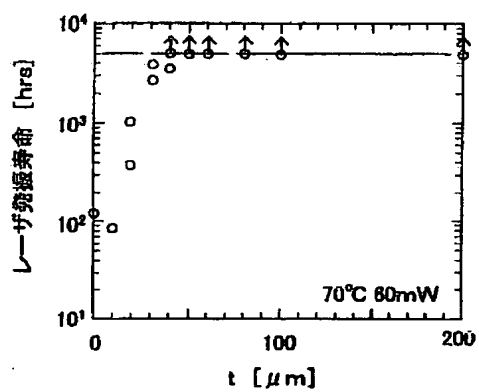
【図3】



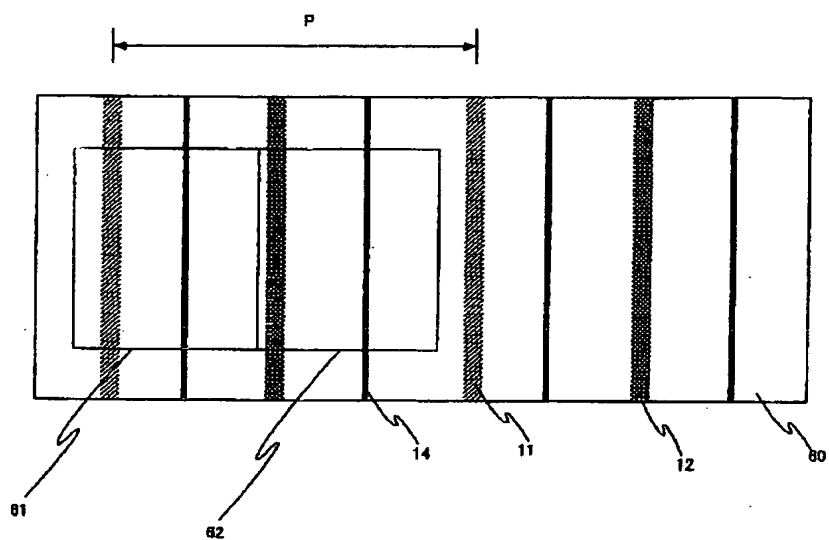
【図4】



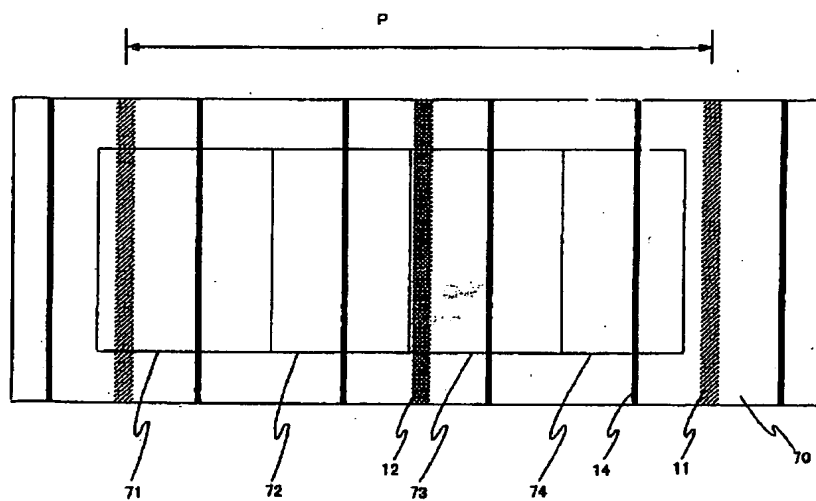
【図5】



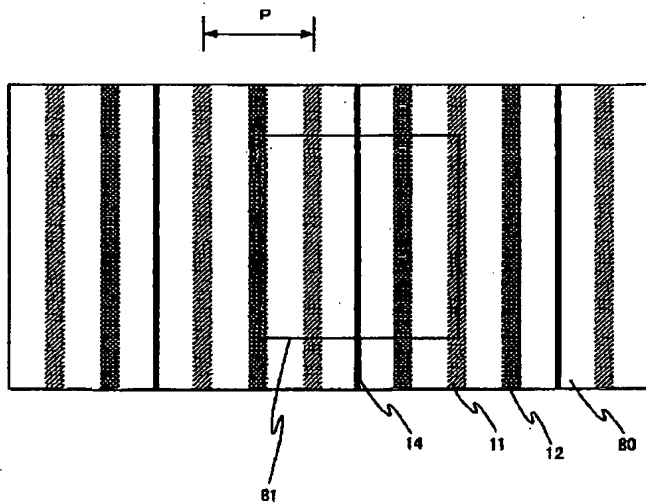
【図6】



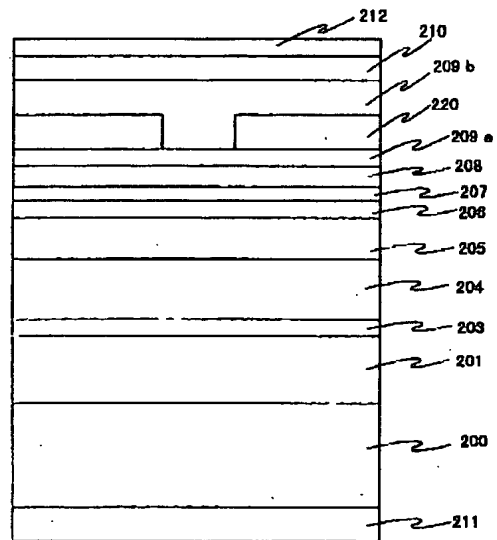
【図7】



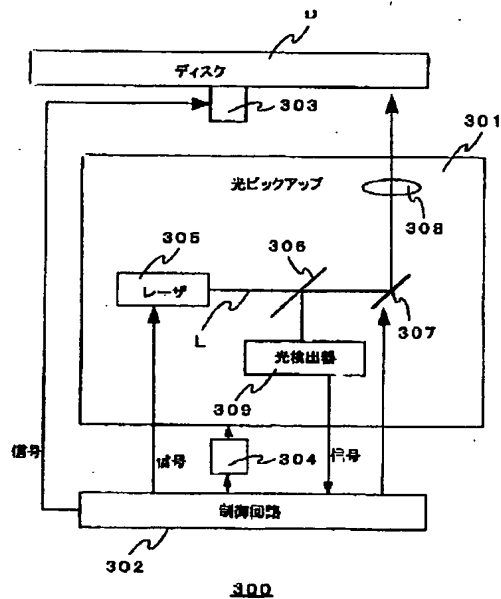
【図8】



【図9】



【図10】



2

フロントページの続き

(72)発明者 上田 吉裕
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ヤープ株式会社内
(72)発明者 湯浅 貴之
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ヤープ株式会社内

(72)発明者 種谷 元隆
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ヤープ株式会社内
(72)発明者 元木 健作
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
電気工業株式会社伊丹製作所内

(註 8))03-133650 (P2003-133650A)

Fターム(参考) 5F073 AA13 AA20 AA51 AA74 AA89
BA06 CA07 CB18 EA24 EA28